

7/5/15

DIALOG(R) File 347:JAPIO

(c) 2000 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06084718 \*\*Image available\*\*

EXCHANGE COMBINATION FILM, MANUFACTURE THEREOF, AND MAGNETORESISTIVE EFFECT DEVICE

PUB. NO.: 11-026232 [JP 11026232 A]

PUBLISHED: January 29, 1999 (19990129)

INVENTOR(s): KOMODA TOMOHISA  
DOUJIMA MASAJI  
DEGUCHI HARUHIKO  
NAKABAYASHI KEIYA  
KIRA TORU

APPLICANT(s): SHARP CORP

APPL. NO.: 09-177995 [JP 97177995]

FILED: July 03, 1997 (19970703)

INTL CLASS: H01F-010/00; G11B-005/39; H01L-043/08

*magnetoresistive heads*  
ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent an exchange combination film from deteriorating in exchange combination magnetic field even after it is subjected to a heat treatment, by a method wherein an antiferromagnetic film which becomes lower in Neel temperature with a distance from a ferromagnetic film is provided adjacent to the ferromagnetic film.

SOLUTION: An exchange combination film is formed through such a manner that a base layer 2 of high-melting material, a ferromagnetic film 3 of NiFe alloy or the like, and an antiferromagnetic film 10 of MnPt, FeMn, NiMn alloy or the like are successively formed on a board of glass, Si or the like. At this point, the antiferromagnetic 10 is composed of three antiferromagnetic layers 4, 5, and 6 of different Neel temperatures. The layers 4, 5, and 6 are so arranged as to get lower in Neel temperature with a distance from the ferromagnetic layer 3. The layers 4, 5, and 6 are formed of the same material and set different in Neel temperature by a change in composition. By this setup, an exchange combination film which is restrained from deteriorating in exchange combination magnetic field, even after it is subjected to a thermal treatment and kept high and stable in exchange combination magnetic field, is realized.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-26232

(43)公開日 平成11年(1999)1月29日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 F 10/00

H 0 1 F 10/00

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平9-177935

(22)出願日

平成9年(1997)7月3日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 鶴田 智久

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

(72)発明者 道嶋 正司

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

(72)発明者 出口 治彦

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

(74)代理人 弁理士 梅田 勝

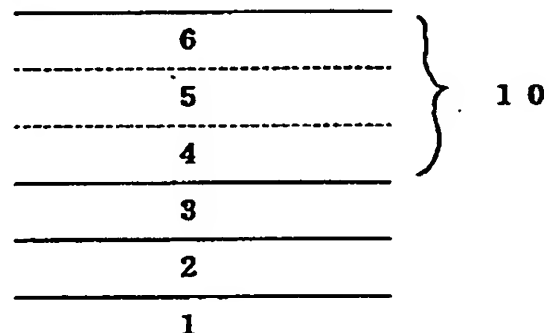
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 交換結合膜及びその製造方法並びに磁気抵抗効果素子

(57)【要約】

【課題】 交換結合磁界が熱処理後においても低下せず、磁気ヘッドの加工プロセスによる熱履歴を受けた場合にも安定した交換結合膜磁界の得られる交換結合膜及びその製造方法並びに磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】 強磁性体膜3上に反強磁性体膜10が交換結合している。反強磁性体膜10は3つの反強磁性体層4、5、6からなる。反強磁性体層4、5、6はネール温度がこの順に低くなっている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 強磁性体膜と、

該強磁性体膜に隣接し、該強磁性体膜から離れた部分ほどネール温度が低い反強磁性体膜と、を備えてなることを特徴とする交換結合膜。

【請求項2】 請求項1に記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜は、そのネール温度が段階的に変化するよう形成されてなることを特徴とする交換結合膜。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の交換結合膜において、

前記反強磁性体膜は、同一材料からなり、前記強磁性体膜から離れる方向に組成が変化していることを特徴とする交換結合膜。

【請求項4】 請求項3に記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜の前記強磁性体膜と接する部分が、他の部分よりも前記強磁性体膜との組み合わせにおいて大きな交換結合磁界を生じる組成からなることを特徴とする交換結合膜。

【請求項5】 強磁性体膜と該強磁性体膜に隣接する反強磁性体膜とを備えてなる交換結合膜において、前記反強磁性膜は、Mnと、Pt、Fe、Ni、Ru、Cr、Rhのいずれか少なくとも1つとの合金からなり、前記強磁性体膜から遠ざかるにしたがってMn組成が少なくなっていることを特徴とする交換結合膜。

【請求項6】 強磁性体膜と該強磁性体膜に隣接する反強磁性体膜とを備えてなる交換結合膜において、前記反強磁性膜は、MnとIrとの合金からなり、前記強磁性体膜から遠ざかるにしたがってMn組成が多くなっていることを特徴とする交換結合膜。

【請求項7】 請求項3乃至請求項5のいずれかに記載の交換結合膜において、前記反強磁性膜はMnとPtの合金からなり、Pt組成が7.5at%から20at%の範囲内で変化していることを特徴とする交換結合膜。

【請求項8】 請求項3乃至請求項5に記載の交換結合膜において、前記反強磁性膜はMnとFeの合金からなり、Fe組成が50at%から80at%の範囲内で変化していることを特徴とする交換結合膜。

【請求項9】 請求項3乃至請求項5のいずれかに記載の交換結合膜において、反強磁性膜はMnとNiの合金からなり、Ni組成が5at%から30at%の範囲内で変化していることを特徴とする交換結合膜。

【請求項10】 請求項3乃至請求項6に記載の交換結合膜の製造方法において、前記反強磁性体膜を、同一のターゲットを用いて順次スパッタ条件を変化させてスパッタリングすることにより形成することを特徴とする交換結合膜の製造方法。

【請求項11】 複数の磁性層と、該複数の磁性層の少

なくとも1つに交換結合した反強磁性体層とを有し、前記複数の磁性層の磁化の相対的な向きにより抵抗が変化する磁気抵抗効果素子において、

前記反強磁性体層は、交換結合する磁性層から離れた部分ほどネール温度が低く形成されてなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の技術分野】本発明は、磁気抵抗効果を利用した磁気記録用再生ヘッドや磁気センサ等に使用される磁気抵抗効果素子に用いる強磁性体膜と反強磁性体膜を積層した構造の交換結合膜と、その製造方法および前記交換結合膜を用いた磁気抵抗効果素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスクなどの磁気記録装置においては、磁気記録媒体の記録密度の向上に伴い、磁気ヘッドの高性能化が求められている。即ち、記録ヘッドでは磁気記録媒体の高保磁力化に伴い、飽和磁束密度の大きな材料が要求されている。

【0003】また、再生ヘッドでは、磁気記録媒体の小型化に伴う相対速度の低下に対応するため、従来の誘導型ヘッドに代えて磁気抵抗効果(MR: magnetoresistive effect)を利用したいいわゆるMRヘッドを用いることで、再生出力の増加が図られている。

【0004】このようなMRヘッドに用いられる磁気抵抗効果を示す材料としては、従来より、NiFe合金、NiCo合金の薄膜が知られている。これらの薄膜の抵抗変化率は、NiFe合金で2~3%程度、NiCo合金では最大6%程度である。

【0005】上記薄膜の磁気抵抗効果は、スピン軌道相互作用によるものであり、測定電流の方向と磁性体の磁化方向のなす角度に依存しており、通常、異方性磁気抵抗効果(AMR: anisotropic magnetoresistive effect)と呼ばれている。

【0006】これに対して近年、磁性体薄膜と非磁性薄膜を交互に積層した人工格子膜において、一桁以上大きな抵抗変化率が報告され注目されている。この人工格子膜における磁気抵抗効果は、従来のAMRと発現機構が異なり、人工格子膜の非磁性層を介して上下に配置された磁性層の磁化が互いに反平行の場合と平行の場合とで、伝導電子の散乱が大きく異なるために抵抗変化が現れるものである。すなわち、磁性層間の磁化が反平行の場合、伝導電子の散乱が大きく、抵抗値は高くなる。一方、磁性層間の磁化が平行の時、散乱が減少し、抵抗値は小さくなる。

【0007】この人工格子膜における抵抗変化の値は従来のAMRに比較して非常に大きく、現在最大の磁気抵抗変化を示す材料系であるCo/Cu多層膜では、常温

においても60%以上の抵抗変化率が得られている。このため、この抵抗変化効果は巨大磁気抵抗効果(GMR: giant magnetoresistive effect)と呼ばれている。

【0008】しかしながら、このような人工格子多層膜(GMR膜)では抵抗変化率は非常に大きいものの、無磁場で磁化の反平行状態を実現するために磁性層間の交換相互作用を用いているため、磁性層間の結合が非常に強い。したがって、この交換相互作用を断ち切り、磁化を反平行状態から平行状態に変化させるためには数kOeから数百Oeの磁界が必要となる。このため、上記した大きな抵抗変化率を得るのに非常に大きな磁界が必要であり、微弱な磁界に対しては感度が小さく(抵抗変化率が小さく)、磁気記録用のヘッドとして用いるには不十分である。

【0009】そこで、GMR膜の磁界感度を向上させるために、人工格子多層膜の他に、反強磁性体/磁性体/非磁性体/磁性体の構造を有するスピバルブ構造が注目されている。

【0010】図11は、スピバルブ構造を示す説明図である。この図に示すとおり、片側(固定側)の強磁性体層33が反強磁性体34と交換結合しており、磁化の方向(図中矢印)が交換結合磁界によって一方向に固定されている。強磁性体層33に非磁性層32を介して配される他方(自由側)の強磁性体層31は、磁化方向(図中矢印)が外部磁界に対して自由に回転するようになっている。そして、固定側の強磁性体層33と自由側の強磁性体層31の磁化の方向の成す角度によって抵抗が変化する。このようなスピバルブ構造では、自由側の強磁性体層31としてNiFe合金等のソフト性の高い薄膜を用いることで感度の向上を図れ、現在最も実用的な構造である。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記スピバルブ構造においては、反強磁性体層34と強磁性体層33からなる交換結合膜の交換結合磁界を増大させることが重大な課題となっている。これは、交換結合磁界が小さいと、反強磁性体層34により固定されねばならない強磁性体層33の磁化の向きが、自由側の強磁性体層31小さな外部磁界により回転してしまうため、磁界感度領域(安定に検出可能な外部磁界の範囲)が狭くなるためである。

【0012】この課題を解決するために、GMR膜における交換結合膜について、様々な反強磁性材料を用いる検討が行われている。

【0013】反強磁性体材料としては、FeMn合金やNiOが、従来よりよく知られている(「Exchange-Coupled Ni-Fe/Fe-Mn, Ni-Fe/Ni-Mn and NiO/Ni-Fe Films for Stabilization of

Magneto-resistive Sensors」等)。

【0014】しかしながら、FeMn合金を用いたものは耐食性に問題がある上に、交換結合磁界は温度の上昇とともに減少し、約150℃で交換結合磁界は消失する。このようにFeMn合金では、交換結合磁界が消失する温度が低く、100℃においても交換結合磁界は250Oe程度に低下してしまい、GMR素子に使用した場合、熱安定性に問題が生じる。なお、以下では、この交換結合磁界が消失する温度はブロッキング温度( $T_b$ )と称する。

【0015】一方、NiOは酸化物であるため、耐食性は非常に良好である。ところが、NiOを用いた交換結合膜はFeMn合金を用いたものに較べ交換結合磁界が小さい。また、ブロッキング温度は200℃でFeMn合金よりも高いものの、室温での値が低いため、100℃での交換結合磁界はFeMn合金と同程度であり、GMR素子に使用した場合、やはり熱安定性に問題が生じる。

【0016】また、上記FeMn合金やNiO以外にも、以下のようにMnに第2元素を添加することによって熱安定性や耐食性に優れた交換結合膜を得るための検討も行われている。

【0017】特開平6-314617号公報には、反強磁性体としてMnにCu, Ru, Rh, Re, Ag, Au, Os, Irを25~76at%を添加、あるいはPd, Ptを25~60at%または65~76at%添加することによって、反強磁性材料の耐食性と熱的安定性を向上させ、強磁性体と積層することによって交換結合膜を形成する例が開示されている。しかしながら、特開平6-314617号公報に示されているMnにCu, Ru, Rh, Re, Ag, Au, Os, Ir, Pd, Pt等を添加した材料では、耐食性は向上しているが、交換結合磁界が小さく、最大でも200Oeである。

【0018】また、上記の反強磁性体層と強磁性体層の交換結合膜は、例えば、「日本応用磁気学会誌vol. 20, No. 2, 1996, P361 "NiFe/FeMn膜の交換結合における熱処理効果"」(文献1と記す)に示されているように、熱処理により交換結合磁界が減少することが知られている。

【0019】熱処理に伴う交換結合磁界の減少のメカニズムについて、図12を用いて説明する。

【0020】①交換結合膜の成膜直後には、反強磁性体層34内のスピンは一方向に揃っている(図12(a)参照)。

【0021】②熱処理により温度を上昇させると、反強磁性体層34内のスピンにゆらぎが生じ、反強磁性体のネール温度を越えるとそのスピンはいろいろな方向に向くことになる(図12(b)参照)。

【0022】③熱処理後に冷却を行うと、強磁性体層3

3との界面では強磁性体層33との交換結合により反強磁性体層34中のスピンの強磁性体33の方向に向くが、反強磁性体層34中の強磁性体層33からの影響の弱い部分ではスピンの強磁性体層33とは無関係の方向に向く。これにより交換結合磁界が小さくなる(図12(c)参照)。

【0023】そこで、上記文献1では、膜厚を薄くすることで熱処理によるスピンの乱れを抑制し、交換結合磁界の低下を小さくしている。

【0024】しかしながら、一般的にブロッキング温度や交換結合磁界は膜厚を薄くすることにより減少するため、文献1の手法では十分なブロッキング温度、交換結合磁界を得ることができない。

【0025】なお、この様な温度上昇による交換結合磁界の低下は、反強磁性体材料としてFeMn以外の材料を用いる場合についても見られる。図13には、MnPt膜の熱処理による温度特性を示す。この時のPt組成は約9at%である。この図から明らかなように、交換結合磁界は成膜直後1600eであったものが、200℃の熱処理により800e以下と半分に以下に低下してしまう。これはPtの組成の広い範囲においてほぼ同じ様に半分に以下に低下する。そして、この現象は反強磁性体(MnPt膜)が200Åの膜厚の場合と1000Åの膜厚の場合の両方において、同様であった。

【0026】本発明は、上記従来の問題点を解決するためになされたものであり、交換結合磁界が熱処理後においても低下せず、磁気ヘッドの加工プロセスによる熱履歴を受けた場合にも安定した交換結合磁界の得られる交換結合膜及びその製造方法並びに磁気抵抗効果素子を提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の請求項1に記載の交換結合膜は、強磁性体膜と、該強磁性体膜に隣接し、該強磁性体膜から離れた部分ほどネール温度が低い反強磁性体膜と、を備えてなるものである。

【0028】請求項2に記載の交換結合膜は、請求項1に記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜が、そのネール温度が段階的に変化するように形成されてなるものである。

【0029】請求項3に記載の交換結合膜は、請求項1または請求項2に記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜が、同一材料からなり、前記強磁性体膜から離れる方向に組成が変化しているものである。

【0030】請求項4に記載の交換結合膜は、請求項3に記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜の前記強磁性体膜と接する部分が、他の部分よりも前記強磁性体膜との組み合わせにおいて大きな交換結合磁界を生じる組成からなるものである。

【0031】請求項5に記載の交換結合膜は、強磁性体

膜と該強磁性体膜に隣接する反強磁性体膜とを備えてなる交換結合膜において、前記反強磁性体膜が、Mnと、Pt、Fe、Ni、Ru、Cr、Rhのいずれか少なくとも1つとの合金からなり、前記強磁性体膜から遠ざかるにしたがってMn組成が少なくなっているものである。

【0032】請求項6に記載の交換結合膜は、強磁性体膜と該強磁性体膜に隣接する反強磁性体膜とを備えてなる交換結合膜において、前記反強磁性体膜は、MnとIrとの合金からなり、前記強磁性体膜から遠ざかるにしたがってMn組成が多くなっているものである。

【0033】請求項7に記載の交換結合膜は、請求項3乃至請求項5のいずれかに記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜がMnとPtの合金からなり、Pt組成が7.5at%から20at%の範囲内で変化しているものである。

【0034】請求項8に記載の交換結合膜は、請求項3乃至請求項5のいずれかに記載の交換結合膜において、前記反強磁性体膜が、MnとFeの合金からなり、Fe組成が50at%から80at%の範囲内で変化しているものである。

【0035】請求項9に記載の交換結合膜は、請求項3乃至請求項5のいずれかに記載の交換結合膜において、反強磁性体膜はMnとNiの合金からなり、Ni組成が5at%から30at%の範囲内で変化しているものである。

【0036】請求項10に記載の交換結合膜の製造方法は、請求項3乃至請求項6のいずれかに記載の交換結合膜の製造方法において、前記反強磁性体膜を、同一のターゲットを用いて順次スパッタ条件を変化させてスパッタリングすることにより形成するものである。

【0037】請求項11に記載の磁気抵抗効果素子は、複数の磁性層と、該複数の磁性層の少なくとも1つに交換結合した反強磁性体層とを有し、前記複数の磁性層の磁化の相対的な向きにより抵抗が変化する磁気抵抗効果素子において、前記反強磁性体層は、交換結合する磁性層から離れた部分ほどネール温度が低く形成されてなるものである。

【0038】

【発明の実施の形態】以下に本発明について説明するが、まず、本発明の原理について説明する。

【0039】図2は、本発明に係る交換結合膜の原理を説明する概略説明図である。この交換結合膜は、磁性体膜3上に反強磁性体膜(反強磁性層4、5)が形成されたものである。反強磁性体層4、5のネール温度 $T_{N4}$ 、 $T_{N5}$ は互いに異なっており、反強磁性体4の方が高い温度となっている( $T_{N4} > T_{N5}$ )。

【0040】この図2に基づき、熱処理工程中のスピンの向きについて説明する。

【0041】①交換結合膜の成膜直後には、反強磁性体層4、5内のスピンは一方向に揃っている(図2(a))

参照)。

【0042】②熱処理により温度を上昇させると、反強磁性体層4、5内のスピンのゆらぎが生じ、反強磁性体層4、5のネール温度を越えると、そのスピンはいろいろな方向に向くことになる(図2(b)参照)。

【0043】③熱処理後の冷却によりを行い、温度が $T_{n4}$ 以下で $T_{n5}$ 以上の温度となると、強磁性体膜3との界面に形成された反強磁性体層4中のスピンの強磁性体膜3との交換結合の作用により配列される。一方、反強磁性体層5はネール温度以上に加熱されているため、スピンは様々な方向を向いている(図2(c)参照)。

【0044】④温度が更に低下し $T_{n5}$ 以下となると、反強磁性体層5中のスピンの強磁性体層4との交換結合の作用により配列される(図2(d)参照)。

【0045】このように、本発明の交換結合膜では、熱処理後の冷却過程において反強磁性体膜中のスピンの向きを強磁性体膜の界面から膜厚方向に順に固定していくため、反強磁性体膜中のスピンの向きを乱れないものとしてことができ、例えば磁気ヘッドの製造プロセス時の熱処理に伴う交換結合磁界の減少を抑制できる。

【0046】以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。

【0047】(実施の形態1)図1は本実施の形態にかかる、交換結合膜の断面図である。ガラス又はSiあるいは、ヘッド用基板として、基板上に $Al_2O_3$ が形成されたアルチック等の基板1上に、Taなどの高融点材料からなる下地層2、NiFe合金などからなる強磁性体膜3、MnPt、FeMn、NiMn合金等からなる反強磁性体膜10が順次積層された構造である。

【0048】ここで、反強磁性体膜10はネール温度が異なった3つの反強磁性体層4、5、6からなり、強磁性体膜3側から離れるほどネール温度が低くなるようになっている。

【0049】以上の構成の交換結合膜によれば、上記の原理により、熱処理に起因する交換結合磁界の減少を抑制でき、交換結合磁界が大きく安定な交換結合膜を実現できる。

【0050】以下、反強磁性体膜10として膜厚方向にネール温度の変化するMnPtを用いた場合についてさらに具体的に説明する。

【0051】図3は、従来の交換結合膜に用いられている組成の均一な反強磁性体膜10のPtの組成に対するブロッキング温度(交換結合磁界が消失する温度)の変化を示す図である。この図から、ブロッキング温度はPt組成に依存しており、Pt組成が増加するにしたがって、ブロッキング温度が低くなっていくことが分かる。

【0052】ここで、ブロッキング温度の変化はネール温度に対応しているため、図3より、ネール温度の変化(ブロッキング温度の変化)はPt組成(Mn組成)の変化に大きく依存していることが分かる。したがって、

本実施の形態の膜厚方向にネール温度の変化する反強磁性体膜10はMnPt膜の組成を変化させることで形成が可能である。

【0053】図4は、組成の均一なMnPt反強磁性体膜とNiFe膜磁性体膜との示す図である。この図に示すとおり、MnPt膜ではPt組成が7.5~12at%で交換結合磁界は最大値をとる。

【0054】ここで、本実施の形態のようにネール温度が膜厚方向に変化する(Pt組成が膜厚方向に変化する)反強磁性体膜10を用いる場合においても、交換結合磁界を大きくするには、強磁性体膜3と接する部分に最も交換結合磁界を大きくできる組成の反強磁性体膜層4を設けることが望ましいことを考慮すると、MnPt膜からなる反強磁性体膜10は、強磁性体膜3側にPt組成が7.5~12at%が形成され、強磁性体膜3から離れた部分にネール温度の低い(Pt組成の大きい)MnPt膜を形成されたものが望ましい。

【0055】また、反強磁性体膜10内におけるPt組成の変化は極わずかであれば良く、Pt組成の変化を大きくし過ぎると交換結合磁界が減少してしまうため、組成は7.5~20%の範囲で変化させることが望ましい。

【0056】このようにすることで、交換結合磁界が比較的大きく、熱処理によるブロッキング温度の低下が少ない反強磁性体膜10を得ることができる。

【0057】次に、上記反強磁性体膜10を有する交換結合膜の製造方法について説明する。

【0058】本実施の形態では9at%、15.2at%、17.8at%3種類の組成のターゲットを準備し、以下の様な手順で成膜を行った。

【0059】まず、ガラス、Siなどの基板1上に、下地層2としてTa膜を50Å、DCマグネトロンスパッタ法により形成した。このときの条件はAr圧が5mTorr、投入電力140mW/cm<sup>2</sup>である。Ta膜の膜厚としては10Å以上あれば良い。

【0060】次に、強磁性体膜3としてNiFe膜を、RFコンベンショナルスパッタ法で100Å形成した。スパッタ条件はAr圧が5mTorr、投入電力80mW/cm<sup>2</sup>である。

【0061】続いて、反強磁性体膜10は3種類のターゲットについてDCマグネトロンスパッタ法でそれぞれPt組成の少ない順番に100Å(反強磁性体層4)、50Å(反強磁性体層5)、50Å(反強磁性体層6)、トータルで200Åを連続的に形成した。MnPt合金の成膜条件は3種類のターゲットについて全て同一条件であり、Ar圧が5mTorr、投入電力140mW/cm<sup>2</sup>で行った。

【0062】最後に、保護層としてTa膜を下地膜と同様の条件で、50Å形成した(図示していない)。

【0063】なお、これらの成膜は一つの成膜装置を用



いて $4 \times 10^{-7}$  Torr以下まで排気後、同一真空中で成膜した。

【0064】このように形成された交換結合膜の交換結合磁界は約1400eとなり、NiFe膜に接している組成(9at%)の均一なMnPt合金を反強磁性体膜とした場合の交換結合磁界とほぼ同等の値が得られた。この膜の温度特性を測定したところ、ブロッキング温度は約195℃であり、熱処理後の交換結合磁界は成膜直後の値に比較して95%以上の値が得られ、熱処理による交換結合磁界の劣化を低減する事ができた。

【0065】以上のように、組成変調した反強磁性膜を用いることで、熱処理時の冷却過程においてネール温度の高い強磁性体に隣接する側からスピンの配列し、強磁性体から遠ざかる方向、すなわちネール温度の低い部分のスピンの配列のために、膜全体のスピンを成膜時と同様の配列した状態とすることができ、交換結合磁界の低下が生じない。

【0066】なお、ここでは、ネール温度が3段階に変化する反強磁性体膜について示したが、ネール温度が変化していれば3段階でなくとも2段階でも4段階でも良く、また、ネール温度が段階的ではなく徐々に変化するものであっても良い。

【0067】また、反強磁性体膜を構成する各反強磁性体層の膜厚は、熱処理により磁化の方向にばらつきが生じない範囲に設定されることが望ましい。

【0068】(実施の形態2)本発明の他の実施の形態について述べる。図5は、本実施の形態の交換結合膜の構成を示す概略模式図である。ここでは、図1の反強磁性体膜10の代わりに、徐々に組成が変化する反強磁性体膜11を使用する。なお、図5では、実施の形態1と同一部分については同一符号を付しており、説明を省略する。

【0069】次に、本実施の形態の交換結合膜の製造方法について説明する。

【0070】図6は、各種のターゲット組成に対して投入電力を変化させた場合の、膜の組成変化を示す。この図から投入電力が大きいほどPt組成が少なくなることがわかる。したがって、反強磁性体膜11の成膜時に投入電力を変化させることによって膜厚方向に組成を徐々に変化させること(ネール温度が異ならせること)ができる。

【0071】具体的には、実施の形態1と同様に、下地層2としてTa膜を10Å以上成膜する。ここでは50Å形成した。その後、NiFe強磁性体膜3を100Å形成する。

【0072】次に、投入電力90mW/cm<sup>2</sup>で膜組成が約12at%となるようなターゲット組成のものを準備する。まず成膜条件として、5mTorrのガス圧力で、投入電力90mW/cm<sup>2</sup>で約70Å形成した後、徐々に投入電力を下げていき、最終的に40mW/cm

2まで低下させ、トータルで200Åとなるように設定する。これにより、膜厚方向に組成が12at%から15.5at%まで順次徐々に変化するような組成変調膜(反強磁性体膜11)の形成ができる。したがって、ブロッキング温度が膜厚方向に約200℃から、150℃まで変化するような反強磁性膜の形成ができる。

【0073】このようにして形成した交換結合膜の交換結合磁界は、約1300eであった。この膜を熱処理したところ、成膜直後の交換結合磁界に比較して90%以上の交換結合磁界を維持しており、従来の膜に比較して温度特性が大幅に改善された。

【0074】本実施の形態では、反強磁性体膜の成膜条件を徐々に変えることでその組成を徐々に変化させているが、この場合、反強磁性体膜内においてブロッキング温度(ネール温度に対応)を単調に変化させるには、組成の変化に対してブロッキング温度が単調に変化することが必要である。図3に示したようにMnPt膜ではPt組成が約4at%から20at%の範囲内であればPt組成が約4at%から20at%の範囲内で使用することが望ましい。この範囲であれば僅かに組成変化させるだけでブロッキング温度(ネール温度に対応)を大きく変化させることができ、形成が容易である。

【0075】尚、本実施の形態では、図5に示すような反強磁性体膜11の組成が徐々に変化する交換結合について述べたが、本実施の形態で説明した製造方法によれば、図1に示すような組成が段階的に変化する反強磁性体膜10を製造することも可能である。すなわち、同一のターゲットを用いてスパッタリングを行いながら、投入電力を段階的に変化させることで製造できる。

【0076】(実施の形態3)本実施の形態ではさらに他の製造方法について述べる。ここでは、図1の概略構成図に基づいて説明する。

【0077】まず、実施の形態1と同様に、ガラス、Siなどの基板1上に、下地層2としてTa膜を50ÅをDCマグネトロンスパッタ法により形成する。このときの条件はAr圧が5mTorr、投入電力90mW/cm<sup>2</sup>である。次に、強磁性体膜3としてNiFe膜を、RFコンベンショナルスパッタ法で100Å形成する。スパッタ条件はAr圧が5mTorr、投入電力500mW/cm<sup>2</sup>である。

【0078】さらに反強磁性体膜10を以下の様な製造方法により形成する。

【0079】成膜は、実施の形態1と同様のDCマグネトロンスパッタ法を用いている。図7にガス圧を変化させた場合のスパッタ膜中のPt組成を示す。このように、Ar圧を5mTorrから40mTorrまで変化させることによって、Pt組成はそれぞれ11at%か

10

20

30

40

50

ら18at%まで変化することがわかる。本実施の形態ではこのような雰囲気ガス圧力により組成が変化することを利用して、膜厚方向の組成を制御するものである。

【0080】具体的には、まずAr圧5mTorrで20Å成膜後、Ar圧を20mTorr、30mTorr、40mTorrと順次変化させてMnPt膜（反強磁性体層4、5、6）をそれぞれ50Å、50Å、80Åトータルで200Å形成する。これにより反強磁性体膜内でPt組成を11at%から18at%まで組成変化させることができる。

【0081】このようにして製造された交換結合膜はやはり1100e程度の交換結合磁界が得られ、なおかつ温度上昇後においても交換結合磁界は成膜直後の90%以上を維持することができる。

【0082】なお、この製造方法を応用すれば、実施の形態2で示したような、反強磁性体膜内におけるMnPも膜の組成が徐々に変化する交換結合膜を形成できることは言うまでもない。

【0083】（実施の形態4）次に、交換結合膜の構造として実施の形態1～3とは上下方向が逆になった構成である。図8はこの交換結合膜の構成を示す図である。図8において図1と同一部分については同一符号を付し説明を省略する。

【0084】以下、図8に基づき本実施の形態の交換結合膜の製造方法について説明する。

【0085】まず基板上1上に下地膜2としてTa膜を50Å形成した後、反強磁性体層4、5、6からなる反強磁性体膜12を200Å形成する。

【0086】ここで、反強磁性体膜12は実施の形態1～3とは逆に上部ネール温度が高くなるように形成する。具体的には、膜の組成としてMnの少ない条件でまず形成し、Pt14.5at%の膜を約70Å形成する。さらに連続してMn組成の多い膜になるように成膜条件として投入電力を徐々に変化させてMn組成の多い膜を形成し組成変調膜を形成する。この時の製造方法としては、Arガス圧を変化させてもよいし、組成の異なるターゲットを用いて組成変調膜を形成しても良い。次に、強磁性体膜3としてNiFeあるいはCoを形成する。

【0087】この後、保護層として下地と同様の条件を用いてTaを50Å形成する（図示していない）。

【0088】このような構造の交換結合膜をネール温度以上の温度で熱処理し冷却すると、強磁性体膜に隣接する部分の反強磁性体膜（反強磁性体層6）は、ネール温度が高いため、他の反強磁性体層4、5よりも先にスピンの配列することになるが、このとき、隣接する強磁性体のスピンのしたがつて配列する。次に、反強磁性体層5、4のスピンの順次配列することになるが、それぞれ下層のスピンの影響を受けて配列する。したがって、膜厚方向にスピンの乱れのない膜が形成できる。このた

め、交換結合磁界の大きな、また、温度変化による交換結合磁界の劣化のない交換結合膜を形成する事ができる。

【0089】（実施の形態5）本実施の形態では、以上で説明した交換結合膜をGMR素子に応用した例を説明する。

【0090】図9は、本実施の形態のGMR素子の構成を示す概略図である。なお、ここでは図1と同一部分については同一符号を付している。このGMR素子は例えば以下のように製造できる。

【0091】まず、基板1上に、下地層2として、Taを50Å形成する。次に自由側の強磁性体層7としてNiFeを約70Å、Co8を5Å形成する。続いて、非磁性層9としてCuを22Å形成する。さらに、固定側の強磁性体3としてCo10Å、NiFe20Å形成する。

【0092】次に、MnPt反強磁性体膜を、前述の方法により12at%から15.5at%程度まで組成変調させた反強磁性体層4、5、6を形成する。さらに、保護膜（図示していない）として下地層と同様、Ta膜を50Å形成する。

【0093】このGMR素子は抵抗変化率としては約4.5%であった。この素子を200℃に加熱後、再度抵抗変化率を測定したが変化は見られなかった。また、交換結合磁界も約1200eであり、変化は見られず良好であった。

【0094】以上のように、本実施の形態で示したGMR素子によれば、磁気ヘッド製造プロセス中における加熱により特性（安定に検出可能な外部磁界の範囲（磁界感度領域）、抵抗変化率等）が変化せず安定であり、かつ再生装置に使用した場合良好な再生信号を得ることが可能である。

【0095】（実施の形態6）ここで、他の実施の形態として、FeMn、MnNiからなる反強磁性体膜の場合について説明する。

【0096】図10は、(a) MnNi、(b) FeMnの組成に対するネール温度の変化を示す図である。したがって、上述したMnPtの場合と同様の製造方法を用い組成を変調させる事により、ネール温度の変化した反強磁性体膜を得ることができる。

【0097】具体的には、例えば、FeMnの場合には、交換結合磁界の高いFe50at%組成近傍から順次Feを増加させることにより、膜厚方向に順次ネール温度の異なる膜を形成し、熱的な安定性を改善することが可能となる。

【0098】また、MnNiの場合には、Ni5at%から30at%になるにしたがつてネール温度が低くなる事からこの組成範囲で組成変調した膜を形成すれば良い。

【0099】また、一般にMnとX（XはPt、Fe、



Ni, Ru, Cr, Rh等)との合金からなる反強磁性体膜では、Xの組成の増大とともにネール温度が減少し、交換結合磁界はXのある組成において極大値を持ちそれ以上の組成で減少する。したがって、MnとXの合金からなる反強磁性体膜を用いた交換結合膜では、交換結合磁界が極大となる組成のものを強磁性体膜側に設け、それよりもXの組成の大きいものを強磁性体膜の反対側に設ければ、交換結合磁界が大きく且つ熱処理、熱履歴により特性の劣化しない交換結合膜を実現できる。

【0100】また、逆にMnとIr等との合金からなる反強磁性体膜では、Irの組成の増大とともにネール温度が増加し、交換結合磁界はIrのある組成において極大値を持ちそれ以上の組成で減少する。したがって、MnとIrの合金からなる反強磁性体膜を用いた交換結合膜では、交換結合磁界が極大となる組成のものを強磁性体膜側に設け、それよりもIrの組成の小さいものを強磁性体膜の反対側に設ければ、交換結合磁界が大きく且つ熱処理、熱履歴により特性の劣化しない交換結合膜を実現できる。

【0101】なお、以上の実施の形態では、交換結合膜を構成する反強磁性体膜として同一材料からなり、強磁性体膜側から順次ネール温度が低下するものを使用した例について示したが、これに限らず、反強磁性体膜はネール温度の異なる異種の材料が積層されたものであっても良いことは言うまでもない。

【0102】さらに、以上の実施の形態では、反強磁性体膜としてMnとX(XはPt, Fe, Ni, Ru, Ir, Cr, Rh等)との合金を用いた場合について説明したがこれに限るものではない。

【0103】また、強磁性体膜も上記実施の形態で使用したNiFeに限るものではない。また、強磁性体膜は(111)配向していれば交換結合磁界が増大するため更に望ましい。

【0104】

【発明の効果】以上のように、本発明にかかる交換結合膜は、強磁性体膜から離れるにしたがって膜厚方向にネール温度が低くなる反強磁性体膜を使用するため、熱処理による交換結合磁界の低下を防止することができる。これにより磁気抵抗素子、薄膜磁気ヘッドなどへの加工プロセス中に交換結合膜が熱履歴を受けた場合にも交換結合磁界の減少を防ぐことができる。

【0105】また、反強磁性体膜として同一材料で組成が変化するものを用いれば、製造が容易となり、生産性が向上する。

【0106】また、反強磁性体膜の強磁性体膜と接する部分を、他の部分よりも、その強磁性体膜との組み合わせにおいて大きな交換結合磁界を生じるものとする。ことで、交換結合磁界を大きくすることと、熱処理、熱履歴による特性の劣化の防止することを両立することが可能

となる。

【0107】また、反強磁性体膜としてMnとX(XはPt, Fe, Ni, Ru, Ir, Cr, Rh等)との合金を用いれば、強磁性体膜側からMn組成(X組成)を順次変化させるだけで、反強磁性体膜のネール温度を変化させることができ、製造が容易である。

【0108】また、このような反強磁性体膜を同一のターゲットを用いてスパッタ条件を変化することで形成すれば小型装置での製造が可能であり、また、製造時間を短縮できる。

【0109】また、本発明の交換結合膜を用いた磁気抵抗効果素子によれば、磁気ヘッドや磁気センサ等の製造プロセスにおける熱処理や熱履歴により、磁気抵抗効果素子における磁界感度領域が減少することを抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態1の交換結合膜の構成を示す概略断面図である。

【図2】本発明の原理を示す説明図である。

【図3】Pt組成とブロッキング温度の関係を示す図である。

【図4】Pt組成と交換結合磁界との関係を示す図である。

【図5】実施の形態2の交換結合膜の構成を示す概略断面図である。

【図6】各種ターゲットを用いた場合のスパッタ投入電力とPt組成との関係を示す図である。

【図7】スパッタリング時におけるArガス圧とPt組成との関係を示す図である。

【図8】実施の形態3の交換結合膜の構成を示す概略断面図である。

【図9】実施の形態4の磁気抵抗効果素子の構成を示す概略断面図である。

【図10】ネール温度とNi組成、Fe組成との関係を示す図である。

【図11】スピナバルブ構造を説明する模式図である。

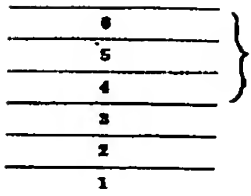
【図12】熱処理により交換結合磁界が減少する原理を説明する図である。

【図13】熱処理により交換結合磁界が減少する例を示す図である。

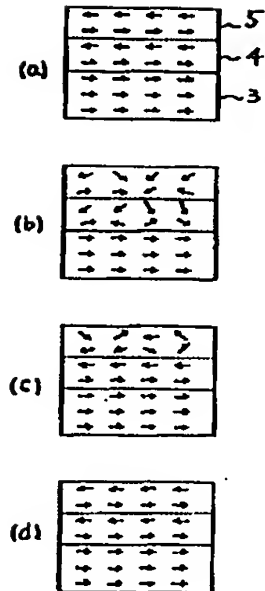
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 下地層
- 3 強磁性体膜(固定側強磁性体膜)
- 4, 5, 6 反強磁性体層
- 7 強磁性体膜(自由側強磁性体膜)
- 8 Co
- 9 非磁性層
- 10, 11 反強磁性体膜

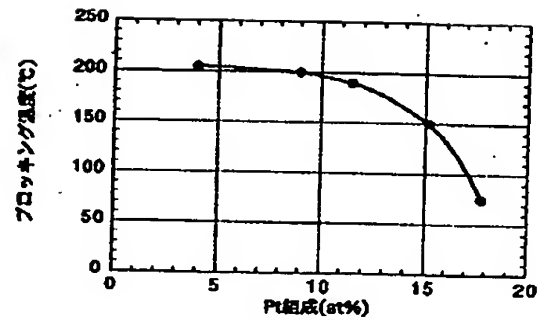
【図1】



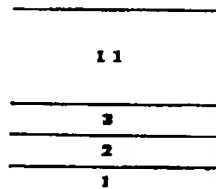
【図2】



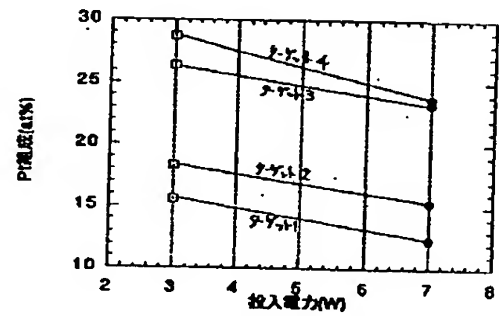
【図3】



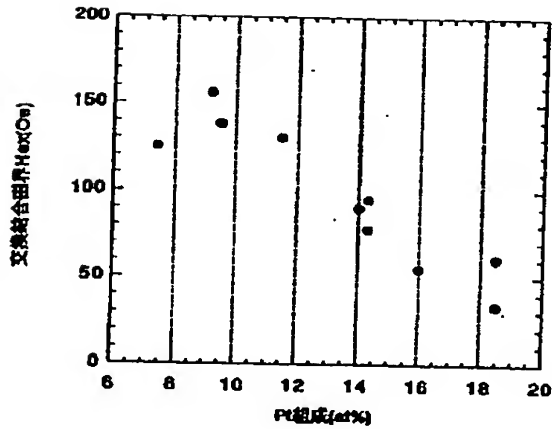
【図5】



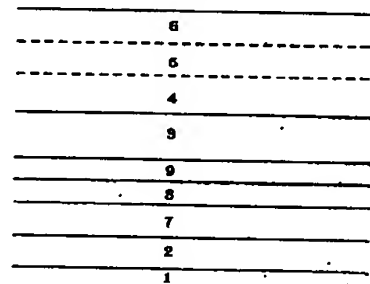
【図6】



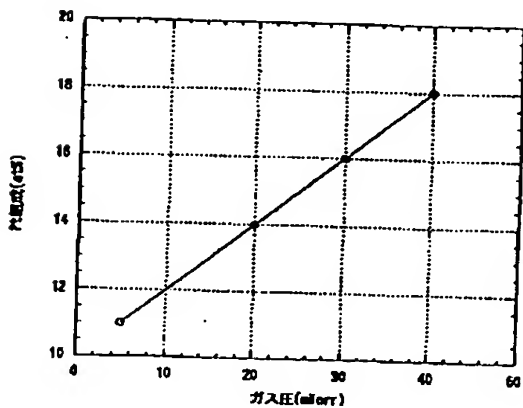
【図4】



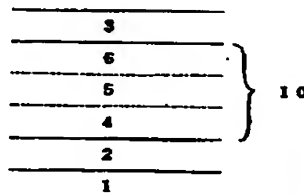
【図9】



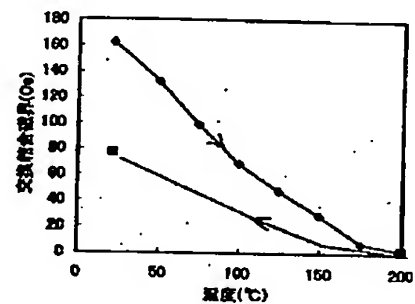
【図7】



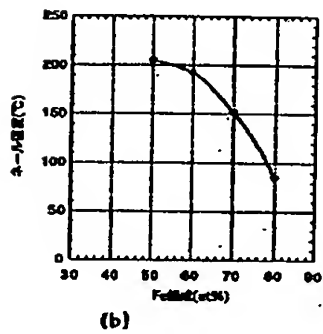
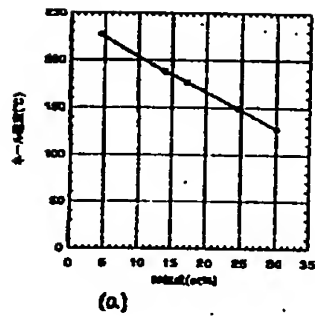
【図8】



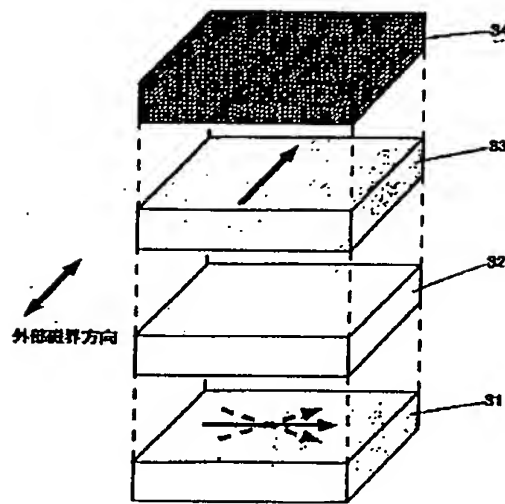
【図13】



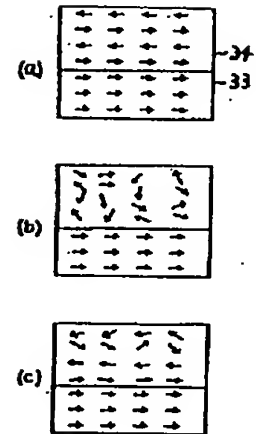
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 中林 敬哉

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ヤープ株式会社内

(72)発明者 吉良 徹

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ヤープ株式会社内